

철도 소음원의 전파특성 규명

Determination of Radiation Characteristic for Railway Noise Sources

*김재철¹, #이찬우²,

*J. C. Kim(jckim@krii.re.kr)¹, #C. W. Lee(cwlee@krii.re.kr)²

^{1,2} 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부

Key words : Railway Noise, Radiation Characteristic, Rolling Noise

1. 서론

일반적으로 철도 환경소음에 대한 대책은 크게 소음원에 대한 저감방안과 방음벽과 같은 전파소음의 저감방안 등을 생각할 수 있다. 이렇게 전파되는 소음에 대한 저감방안의 수립과 소음에 측을 위해서는 기본적으로 차량에서 방사되는 소음의 전파특성이 파악되어야만 한다. 철도 소음은 차량의 특성과 속도에 따라 다르게 나타나지만, 일반적으로 차륜과 레일의 접촉에 의한 진동음(rolling noise), 공력소음(aerodynamic noise) 및 동력장치에 의한 소음 등으로 분류된다. 이러한 소음원에 대한 소음 전파특성을 파악하기 위해서는 차량을 모델화하여 차량통과 시 소음의 전파특성을 파악해야만 한다.

철도소음에 대한 초기의 예측모델은 열차를 무지향성(spherical type) 선음원으로 모델화하였으나, Peters⁽¹⁾와 Cato⁽²⁾ 등은 소음원을 쌍극자 음원(dipole source)으로 고려한 선음원 모델을 제안하였으며, 또한 Hohenwater⁽³⁾와 Rathe⁽⁴⁾ 등은 쌍극자 음원이 연속적으로 나열된 점음원 모델을 제안하여 소음의 전파특성을 파악하였다.

본 연구에서는 현재 국내 철도차량에서 가장 커다란 문제가 되고 있는 진동음과 동력소음에 대해서 차량의 각 차륜과 동력장치를 소음원으로 설정하여 점음원이 나열된 형태로 모델화하였다. 이 모델을 이용하여 진동음과 동력소음을 분리하여 각각의 소음을 계산한 후 측정결과와 비교하여 각 소음원의 전파특성을 파악하였다.

2. 철도 소음원에 대한 전파특성 계산방법

일반적으로 철도차량의 소음원에서 방사되는 소음은 Fig.1과 같이 3가지 형태로 생각할 수 있다.

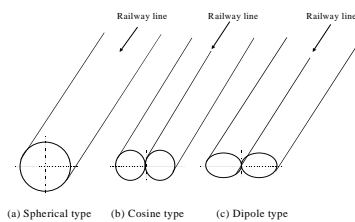


Fig. 1 Radiation characteristics of railway noise

이러한 세가지 형태의 전파특성을 갖는 소음이 방사되어 일정한 거리만큼 떨어진 지점에서의 음압은 식(1)에 의해서 계산된다. 식(1)에서 $n=0$ 일 경우 무지향성 음원, $n=1$ 일 경우 코사인 음원, $n=2$ 일 경우 이중음원을 나타낸다.

$$P^2 = \rho c \frac{W}{4\pi r^2} \cos^n \theta \quad (1)$$

여기서, ρc 는 음향임피던스, r 은 음원에서 수음점까지의 거리, W 은 각 음원에 대한 음향파워, P 는 각 음원에 대한 수음점의 음압을 나타낸다.

본 연구에서는 철도차량을 Fig.2와 같이 진동음과 동력소음을 점음원으로 모델화하여 식(2)을 이용하여 계산하였다. 식(2)에서

$K=W/\rho c$ 값은 음원의 파워에 해당하는 항으로서 소음의 크기를 결정하며, $\cos^n \theta$ 는 소음의 전파특성을 결정하는 지향성을 나타낸다.

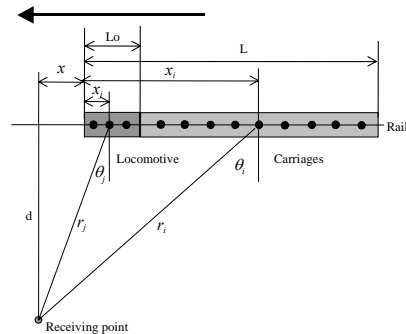


Fig. 2 Calculation model of railway train

$$P^2 = K_c \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{r_i} \right)^2 \cos^n \theta_i + K_d \sum_{j=1}^k \left(\frac{1}{r_j} \right)^2 \cos^n \theta_j \quad (2)$$

여기서, m 은 차륜의 수, k 는 동력장치의 수를 나타내며, K_c 는 진동음의 음향파워, K_d 는 동력소음의 음향파워에 해당한다.

식(2)을 이용한 소음의 전파특성에 대한 계산은 우선, 차량의 길이와 속도, 차륜의 위치, 소음원과 수음점의 높이, 소음원과 수음점까지의 거리 등을 입력하면 식(2)에서 소음원에 대한 지향성을 나타내는 항을 계산할 수 있다. 그러나 소음의 크기를 결정하는 K 값에 대한 계산이 필요하기 때문에 본 연구에서는 실제 차량주행 시 측정된 소음의 실험값을 이용하여 구하였다.

진동음의 경우 동력소음을 제외한 부분의 L_{Aeq} 을 식(2)에 대입해서 K_c 값을 구하였으며, 동력소음은 동력차부분에 대한 소음레벨 L_{Aeq} 값과 객차부분에 대한 소음레벨 L_{Aeq} 값의 차로부터 소음레벨을 구한 후, 위와 동일한 방법으로 K_d 값을 산출하였다. 이렇게 계산한 K_c 와 K_d 값을 다시 식(2)에 대입해서 시간에 따른 소음을 계산하여 측정결과와 비교하였다.

진동음에 대한 음원높이는 연구자에 따라 레일 답변에서부터 30cm⁽³⁾, 혹은 차륜의 중심⁽⁴⁾ 등으로 규정하기도 하지만, 본 연구에서는 궤도중심에서 10cm⁽⁵⁾로 설정하였으며, 동력소음에 대한 음원높이는 동력장치의 높이를 고려하여 2m로 설정하여 계산하였다.

3. 시험방법 및 계산결과

3.1 시험방법

본 연구에서는 차량 주행 시 진동음이 주된 소음원인 전기동차와 진동음과 함께 동력소음을 동시에 발생시키는 무궁화호, KTX 차량을 대상으로 소음을 측정하였다.

소음 시험장소는 장애물 혹은 방음벽이 없고 평탄한 개활지이면서 직선구간을 선택하였으며, 측정위치는 전기동차의 경우 궤도중심에서 10.7m 떨어진 지점에서 레일 답변으로부터 0.83m의 높이로 마이크로폰을 설치하여 차량주행 시 소음을 측정하여 녹음기(sony SIR-1000)에 기록한 후, 분석하였다. 그리고, 무궁화호와 KTX도 동일한 환경조건을 갖는 지점에서 측정하였으나,

측정거리는 20m와 15m, 측정높이는 지표면에서 1m로 설정하였다.

3.2 전동음에 대한 계산결과

앞에서도 기술한 바와 같이 차량의 전파특성은 크게 무지향성 음원, 코사인 음원, 쌍극자 음원의 형태로 나타난다. 이러한 전파특성의 차이는 시간축에서 선두부 및 후두부에서 소음전파의 기울기 차이로 나타난다.

Fig.3은 전기동차(EMU) 10량이 75km/h의 속도로 통과 시 3개의 전파특성을 계산한 결과이다. 무지향성 음원에 비해서 쌍극자 음원의 기울기가 커지며, 차륜과 차륜사이의 꺾의 깊이가 더욱 커지는 것을 알 수 있다. Fig.4는 75km/h의 속도로 주행 시 10.7m지점에서 측정된 결과와 쌍극자 음원으로 계산한 결과의 비교이다. 이 결과로부터 전기동차에서 방사되는 소음은 쌍극자 음원의 전파특성과 잘 일치하며, 근거리에서 차륜과 레일에 의한 전동음의 피크가 확연히 나타나는 것을 보여준다. 따라서, 전기동차가 60km/h이상의 속도로 주행하는 경우에는 전동음만을 소음원으로 고려해서 차량을 모델화하여도 충분한 결과를 얻을 수 있는 것을 알았으며, 전동음에 대한 전파특성은 쌍극자 음원인 것을 확인하였다

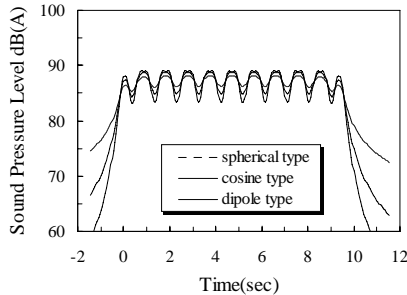


Fig. 3 Calculation results of noise radiation characteristic (train type: EMU, speed:75Km/h, distance: 5.7m)

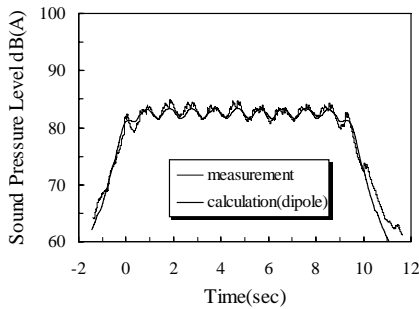


Fig. 4 Comparison between calculated and measured results (train type: EMU, speed: 75Km/h, distance: 10.7m)

3.3 동력소음에 대한 계산결과

Fig.5는 동력차가 선두부에 있는 무궁화호 8량이 135km/h의 속도로 주행 시 측정결과와 계산결과와의 비교이다. 전동음은 전기동차와 동일하게 쌍극자 음원으로 계산하였으며, 동력차에 발생하는 동력소음은 코사인 음원으로 계산하였다. 전체적으로 계산결과와 실험결과가 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다.

위의 계산결과로부터 전동음과 동력장치에 의한 소음은 서로 다른 형태의 전파특성을 갖고 방사하는 것을 알았다.

이러한 결과를 이용해서 참고적으로 전후두부에 동력차가 부착된 KTX차량을 모델화하여 전파특성을 계산하였다.

Fig.6은 KTX차량에 대한 결과로서 약295km/h의 속도로 주행 시 측정결과와 계산결과이다. Fig.6의 측정결과에서 전파특성의 형태가 좌우 비대칭으로 나타나는 것은 차량이 고속으로 주행하면서 발생하는 도플러 효과 때문이며, 본 계산에서도 도플러

효과를 고려하여 계산을 하였다. 전체적으로 도플러 효과를 고려한 계산결과가 더욱 일치하는 것을 알 수 있다.

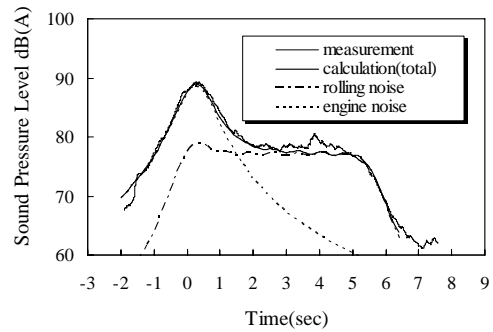


Fig. 5 Comparison between calculated and measured results for Mookungwha (speed: 135Km/h, distance: 20m)

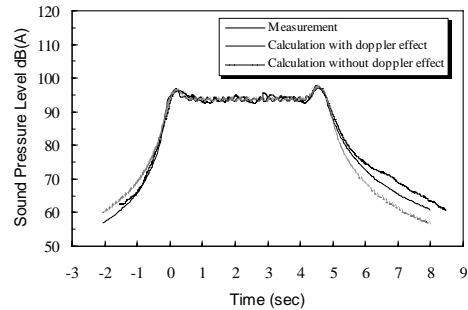


Fig. 6 Comparison between calculated and measured results for KTX (speed: 295Km/h, distance: 15m)

4. 결론

본 연구에서는 현재 국내에서 주행 중인 철도차량을 모델화하여, 동력장치에 의한 소음과 차륜/레일에 의한 소음을 분리적으로 계산하였다. 이 결과를 토대로 철도차량의 소음원에 대한 전파특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 국내에서 주행 중인 철도차량을 동력소음과 전동음을 소음원으로 설정하여 점음원이 나열된 형태로 모델화하여 각각의 소음원에 대해서 분리적으로 전파특성을 파악할 수 있었다.
- (2) 전기동차와 같이 차륜과 레일에 의한 전동음이 주 소음원인 경우 전파특성은 쌍극자 음원의 형태로 방사되는 것을 알았다.
- (3) 또한, 무궁화호와 같이 동력차에 의해서 운행되는 차량의 경우 동력차의 엔진 및 각종 기기류에서 방사되는 소음은 코사인 형태의 전파특성을 가지는 것을 알았다.
- (4) KTX와 같이 고속으로 주행하는 경우 음원의 이동효과에 의해서 차량의 선두부에서는 소음레벨이 증가하고, 차량의 후두부에서는 감소하는 것을 알았다.

참고문헌

1. S. Peters, "The prediction of railway noise profiles," Journal of sound and vibration, Vol. 32, 87~99, 1974.
2. D.H.Cato, "The prediction of environmental noise from fast electric trains," Journal of sound and vibration, Vol. 46(4), 483~500, 1976.
3. D.Hohenwarter, "Railway noise propagation models," Journal of sound and vibration, Vol. 141(3), 17~41, 1990.
4. E.J.Rathe, "Railway noise propagation," Journal of sound and vibration, Vol. 51(3), 371~388, 1977.
5. 朱鎮洙, 2000, "A study on the sound radiation characteristics of convention railway by sound intensity method," 日本音響學會誌, 56卷1號, pp. 32~38.